一、二期稻作土壤環境、根部活力與產量之分析比較*

侯清利、黃天成

國立嘉義農業專科學校農藝科

摘要

為探討本省第二期稻作單位面積產量較第一期稻作為低有關之根部原因，於水稻各生育期調查土壤環境、根部活力與葉部營養要素含量之差異，進而研討與產量之關係。謹將結果摘要於後。

大部份之稻根分布於地表下15公分以內之耕土層。該土層之地溫在水稻孕穗期以前，一直以二期作較一期作者為高。又該層土壤之氧化還原電位（Eh 值）在糊熟期以前，均是二期作者較低。該等差異在水稻生育之愈早期愈為明顯。

二期作水稻之根部長期生長於還原狀態較為明顯，亦即較為不利之土壤環境中，而整個生育時期其氧化力却常低於一期作稻根，故容易遭受還原性物質之侵害。再者，生育初期遇高溫之二期作稻根雖然伸長快速，分枝根較多，但其根徑較細，生育後期則腐敗根之比率較一期稻作者為多。又由稻葉及稻田土壤中磷、鉀含量分析之結果推論得知，二期作稻根對營養要素吸收之能力較差。以上可能是二期稻作之稔實率與千粒重較低，以至產量較低之主要原因。

前言

水稻為我國最主要之糧食作物，一年可種植兩期。以往之統計資料顯示，臺灣第一期稻作面積約三十四萬公頃；第二期稻作面積約四十萬公頃[24]。但第二期作之單位面積產量常偏低，約僅為一期作者之80%[6,23,29]。

如衆所周知，本省耕地面積擴展不易，提高單位面積之作物產量將是增產之最有效途徑。其中又以改進低產地區或低產期作產量之方案最受重視。關於水稻二期作產量偏低的問題，雖已有不少之研究[6,29]，但大多偏重於氣象環境與水稻地上部生育間關係之探討。水稻之根部是其吸收營養要素之器官，其生理作用與地上部之生長發育息息相關[7,8,36]。水稻根部之生育表現雖已漸被國內研究者重視，但由於稻根生長於湛水之水田土壤中，研究不易，目前為止，尚很少有研究報告。本實驗之目的在於研究比較本省一、二期稻作各生育時期之土壤環境，根部活力與葉部營養要素之差異，並分析研討該等性狀之相互關係，及其與產量間之相關關係，以增進稻作栽培之基礎知識，提高稻作單位面積產量。

材料與方法

本實驗利用國立嘉義農專實驗農場水田進行。即於同一塊水田，按照當地推廣之田間作業曆種植一、二期水稻。實驗材料選用當地推廣多年之品種臺南5號，一本植。為便於根部調查，行株距定為

* 行政院農業發展委員會補助計畫69農建—5.1—產—080（2—17）與70農建—5.1—產—06（2—8）

24×24公分。兩期作均施與同樣之肥料、灌排水、除草及病蟲害等田間管理措施。又於插秧之後，各於分蘖初期、分蘖盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期等不同生育時期分別進行下列調查研究。

㈠利用可攜帶之 Jenco Electronics 707型直讀式溫度計測定氣溫與湛水狀態稻田表土及距表土5、10、15、20及25公分深處之地溫，以便瞭解水田之氣溫與地溫間之關係，以及稻根分布最多之耕土層之地溫。

㈡以攜帶式 TOA RM-IK 型 ORP meter 測定湛水狀態稻田耕土層（土表下10公分處）之氧化還原電位（Eh值）。

㈢以改良方塊法（improveed monolith method, 40×45×10cm）[3,34] 調查稻根之分布及腐敗根之情形。

㈣以 α-萘胺（α-NA）法 [1,37] 測定稻根之氧化力（oxidizing ability）[18]，即稻根氧化根圈還原性物質以保護本身不受毒害之能力。

㈤採取稻田土壤及水稻主稈最上部已展開之葉片三葉，測定其磷 [3,10] 與鉀 [9,10] 之含量。

㈥逢機取樣一百株調查一、二期作之產量，並取樣二十株分析產量構成因素 [15,35] 之差異。

實驗結果

本實驗於民國六十八年及六十九年進行。根據中央氣象局嘉義氣象測站資料 [4,5]，本地區插秧期、分蘖初期、分蘖盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期等水稻生育時期，六十八年一期作之平均氣溫分別爲17.6、18.5、19.9、22.8、24.5、25.5及26.5°C；同年二期作之平均氣溫分別爲 28.9、27.5、26.6、24.5、22.3、21.2及20.0°C。六十九年一期作各該生育期之平均氣溫分別爲16.2、15.8、21.0、22.6、25.5、27.1 及 28.7°C；同年二期作者則分別爲 29.0 、 28.0 、 26.6、25.7、24.7、23.3 及 21.9°C（Table）。該資料顯示，一期作水稻生育初期遇低溫，其生育後期氣溫較高；而二期稻作則生育初期遇高溫，其生育後期氣溫較低。

Table 1. Comparison between the air temperatures of the first and second rice crops at growth stages.

Year	Crop	Growth stage	Trans-planting	Early tillering	Vigorous tillering	Booting	Flowering	Dough	Maturity
1979	First crop	Ave. Temp.	17.6	18.5	19.9	22.8	24.5	25.5	26.5(°C)
		Max. Temp.	29.2	28.9	31.7	32.2	34.2	34.2	33.9(°C)
		Min. Temp.	9.2	7.3	9.0	13.2	16.2	17.9	19.6(°C)
	Second crop	Ave. Temp.	28.9	27.5	26.6	24.5	22.3	21.2	20.0(°C)
		Max. Temp.	35.6	34.4	34.5	34.0	32.5	32.5	31.6(°C)
		Min. Temp.	23.0	22.4	17.6	15.9	14.2	11.7	9.2(°C)
1980	First crop	Ave. Temp.	16.2	15.8	21.0	22.6	25.5	27.1	28.7(°C)
		Max. Temp.	26.2	27.8	31.5	32.0	33.2	34.7	36.1(°C)
		Min. Temp.	7.5	7.7	13.5	13.0	18.4	19.8	21.2(°C)
	Second crop	Ave. Temp.	29.0	28.0	26.6	25.7	24.7	23.3	21.9(°C)
		Max. Temp.	36.1	34.4	35.2	34.4	33.6	32.0	30.4(°C)
		Min. Temp.	22.3	23.0	20.0	18.8	17.5	15.0	12.4(°C)

另一值得說明之現象是，在孕穗期以前，二期作之氣溫常高於一期作者；開花期以後，一期作之氣溫常高於二期作者。又，在分蘖盛期以前，一期作之

最低氣溫常在 10°C 以下；而二期作之最高氣溫常達35°C 左右。

爲瞭解稻根生長之水田土壤溫度，本研究實際測定稻田氣溫及湛水土壤之表土及距表土 5、10、15、20及25公分深處之地溫，經統計結果獲悉表土溫與氣溫有直線相關關係，可用下列迴歸方程式表示之。

Table 2. Comprison between the temperatures of plow soil in paddy field of the first and second rice crops at growth stages

Year	Crop		Growth stage	Trans-planting	Early tillering	Vigorous tillering	Booting	Flowering	Dough	Maturity
1969	First crop	Temp. of surface soil	Ave.	18.7	19.4	20.6	23.0	24.5	25.3	26.2(°C)
			Max.	28.4	28.2	32.8	33.5	37.1	36.5	36.1(°C)
			Min.	9.2	7.12	9.0	13.6	17.5	18.9	20.4(°C)
		Temp. of plow soil	Ave.	17.9	18.6	19.8	22.2	23.7	24.5	25.4(°C)
			Max.	27.6	27.4	31.1	31.8	35.4	34.8	34.4(°C)
			Min.	11.9	9.8	11.7	16.3	16.7	18.1	19.6(°C)
	Second crop	Temp. of surface soil	Ave.	28.2	27.0	26.2	24.5	22.6	21.7	20.7(°C)
			Max.	38.6	36.8	36.9	36.2	35.4	34.0	32.6(°C)
			Min.	23.2	22.7	18.7	17.2	14.7	12.0	9.2(°C)
		Temp. of plow soil	Ave.	27.4	26.2	25.4	23.7	21.8	20.9	19.9(°C)
			Max.	36.9	35.1	35.2	34.5	33.7	32.3	30.9(°C)
			Min.	22.4	21.9	17.9	16.4	17.4	14.7	11.9(°C)
1980	First crop	Temp. of surface soil	Ave.	17.5	17.1	21.5	22.9	25.3	26.7	28.0(°C)
			Max.	25.9	27.2	31.8	33.1	35.0	37.2	39.3(°C)
			Min.	7.3	7.6	14.0	3.4	19.3	20.5	21.7(°C)
		Temp. of plow soil	Ave.	16.7	16.3	20.7	22.1	24.5	25.9	27.2(°C)
			Max.	25.1	26.4	30.1	31.5	33.3	35.5	37.6(°C)
			Min.	10.0	10.3	16.7	16.1	18.5	19.7	20.9(°C)
	Second crop	Temp. of surface soil	Ave.	28.3	27.4	26.2	25.4	24.6	23.7	22.3(°C)
			Max.	39.3	36.8	38.0	36.8	35.6	33.2	30.8(°C)
			Min.	22.6	23.2	20.7	19.7	18.6	15.6	12.5(°C)
		Temp. of plow soil	Ave.	27.5	26.6	25.4	24.6	23.8	22.9	21.5(°C)
			Max.	37.6	35.1	36.3	35.1	33.9	31.5	29.1(°C)
			Min.	21.8	22.4	19.9	18.9	17.8	14.8	15.4(°C)

即當氣溫小於 15°C時，表土溫＝－0.9°C＋(1.1)（氣溫x°C）

當氣溫介於 15～30°C時，表土溫＝3.9°C＋(0.84)（氣溫x°C）

當氣溫大於 30°C時，表土溫＝－14.8°C＋（1.5)（氣溫x°C）

再者，不同深度之地溫亦與表土溫成直線相關關係，可用下列迴歸方程示表示之。

即當表土溫小於15°C時，地溫＝表土溫x°C＋(0.18°C)（深度y公分）

當表土溫介於15～30°C時，地溫＝表土溫x°C－(0.05°C)（深度y公分）

當表土溫大於 30°C時，地溫＝表土溫 x°C－(0.11°C)（深度y公分）

將氣溫之資料代入上列方程式，即可求得一、二期稻作各生育期不同深度土層之溫度。

本研究挖根調查結果得知水稻根部分布最多的是表土以下約十五公分之耕土層。換言之，表土及其下十五公分間耕土層之溫度對於稻根之生育具有決定性之影響。從上述資料估算結果，挿秧期、分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期之耕土層（表土～犂底層）之溫度就平均而言，六十八年一期作分別爲18.7～17.9、19.4～18.6、20.6～19.8、23.0～22.2、24.5～23.7、25.3～24.5 及 26.2～25.4°C；同年二期作分別爲28.2～27.4、27.0～26.2、26.2～25.4、24.5～23.7、22.6～21.8、21.7～20.9 及 20.7～19.9°C。六十九年一期作分別爲17.5～16.7、17.1～16.3、21.5～20.7、22.9～22.1、25.3～24.5、26.7～25.9及28.0～27.2°C；同年之二期作則分別爲 28.3～27.5、27.4～26.6、26.2～25.4、25.4～24.6、24.6～23.8、23.7～22.9 及 22.3～21.5°C（Table 2）。由此可見，稻根生長之耕土層在一期作生育初期溫度較低，生育後期溫度較高；相反地，二期作則生育初期溫度較高，生育後期溫度較低。再者，在孕穗期以前，二期作稻田耕土層之溫度高於一期作者；開花期以後，則反以一期作耕土層之溫度高於二期作者。以絕對溫度而言，分蘗盛期以前一期作耕土層之最低溫度常在 10°C 以下；而二期作耕土層之最高氣溫常在35°C以上（Table 2）。

爲比較兩期稻作生育期間稻田土壤之還原程度，於六十九年一、二期作測定稻田耕土層（表土下十公分處）土壤之氧化還原電位結果，一期作挿秧期、分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期之 Eh 值分別是－67mV、－177mV、－232mV、－224mV、－238mV、－234 mV 及－165mV；而二期作該等生育期之 Eh 值分別是－228mV、－276mV、－270mV、－276mV、－267mV、－267mV 及－144mV（Table 3）。該結果顯示，二期作稻田土壤常比一期作者呈較明顯之還原狀態。

Table 3. Comparison between the Eh values of paddy soils of the first and second rice crops.

Growth stage	Trans-planting	Early tillering	Vigorous tillering	Booting	Flowering	Dough	Maturity
First crop	− 67±38	−177±24	−232±25	−224±29	−238±26	−234±24	−165±42(mV)
Secon crop	−228±42	−276±35	−270±17	−276±32	−267±46	−267±32	−144±52(mV)

Note : The Eh values were determined under water-logged condition except that of maturity stage.
± indicated the confidence limits of means.

一、二期作單位根重之氧化力，以 α-萘胺法測定五重複，平均結果，在分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期，六十八年一期作分別爲183、114、52、42、47及53 μgα-NA/g. dry wt./hr.；同年二期作分別爲 96、57、39、33、31及30 μgα-NA/g. dry wt./hr.。六十九年一期作分別爲 161、63、39、35、33及44 μgα-NA/g. dry wt./hr.；同年二期作則分別爲117、54、29、31、27 及 28 μgα-NA/g. dry wt./hr.(Fig. 1)。

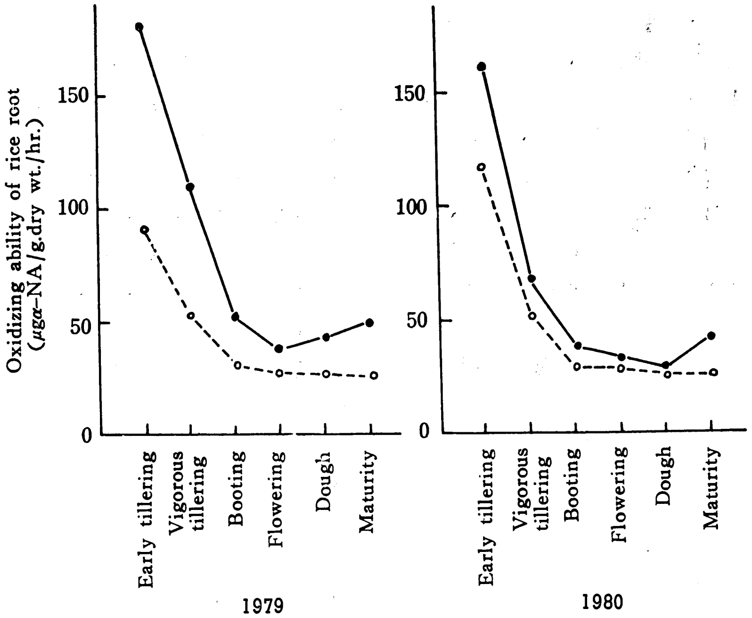


Fig. 1. Comparisson of the oxidizing abilities between the roots of the first and second rice crops ●—● First crop ○···○ Second crop

由此可見，無論一期作或二期作，稻根之氧化力均以生育初期較高，在開花期以前，隨着生育期之演進而降低。值得特別重視的是，整個生育期，一期作稻根之氧化力常高於二期作稻根，而且六十八年與六十九年試驗之結果相當一致。

在水稻各生育時期，從稻田採取十個土壤樣品

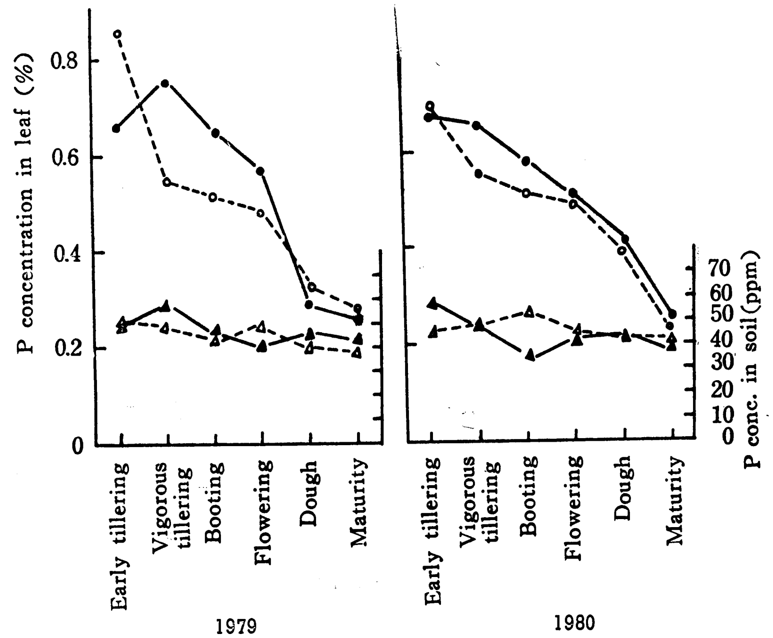


Fig. 2. Comparison between the phosphorus concentrations in leaves and paddy soils of the first and second rice crops. ●—● First crop-rice leaf, ○—○ Second crop-rice leaf, ▲—▲ First crop-paddy soil, △···△ Second crop-paddy soil.

，經充分攪拌混合後，分析磷含量三次平均結果，在分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期，六十八年一期作分別為49、58、47、41、46及44ppm；同年二期作分別為50、49、44、50、39及40ppm。六十九年一期作分別為58、48、35、43、43及39ppm；同年二期作則分別為46、49、53、46、44及42ppm (Fig. 2)。在上述生育時期逢機採取十株以上之水稻最上部已展開之三個葉片，亦經粉碎充分攪拌混合後，分析其磷含量三次平均結果，在分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期，六十八年一期作分別為0.66、0.75、0.65、0.57、0.30及0.26%；同年二期作分別為0.82、0.58、0.54、0.48、0.33及0.28%。六十九年一期作分別為0.67、0.65、0.57、0.53、0.43及0.26%；同年二期作則分別為0.69、0.56、0.53、0.49、0.39及0.23% (Fig. 2)。可見六十八年及六十九年均顯示，一、二期作稻田土壤中磷要素含量沒有一定之差異趨勢；但分蘗盛期至開花期間稻葉中之磷含量一期作者比二期作者有較高之趨勢。

如上述方法取樣，分析稻田中鉀要素含量求平均值結果，分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期，六十八年一期作分別為97、98、85、83、90及88ppm；同年二期作分別為 112、102、102、103、93、92 及94ppm。六十九年一期作分別為97、126、91、99、97 及94ppm；同年二期作則分別為88、93、90、90、86及83ppm (Fig. 3)。經分析稻葉中鉀要素含量結果，分蘗初期、分蘗盛期、孕穗期、開花期、糊熟期及黃熟期，六十八年一期作分別為2.30、2.61、2.33、1.82、1.48及1.44%；同年二期作分別為2.37、2.52、2.03、1.70、1.39及1.05%。六十九年一期作分別為2.60、2.80、2.20、2.07、1.84及1.79%；同年二期作分別為2.41、2.05、1.81、1.65、1.44及1.09% (Fig. 3)。由此可見稻田中鉀要素之含量六十八年二期作者較一期作者略高；而六十九年反以一期作者較二期作者略高。然而這兩年稻葉中鉀要素之含量常以一期作者保持較高。

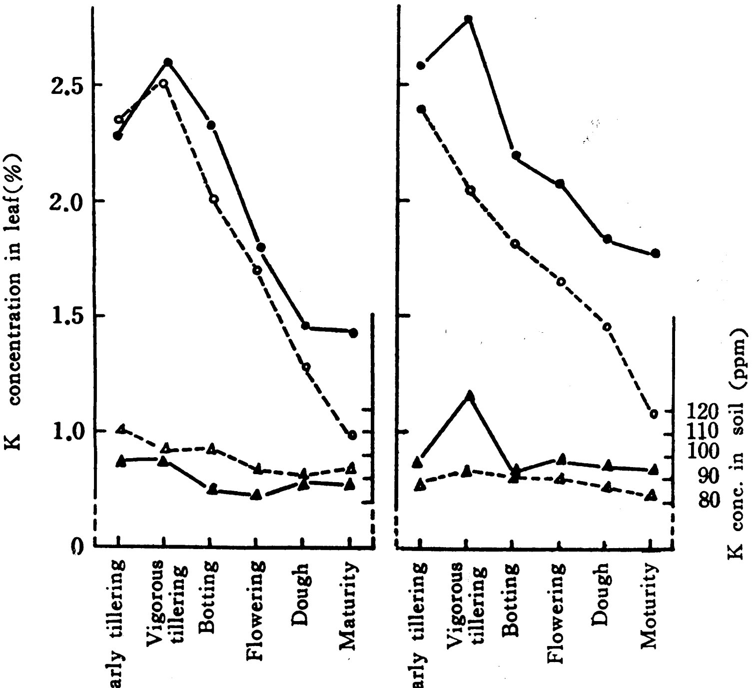
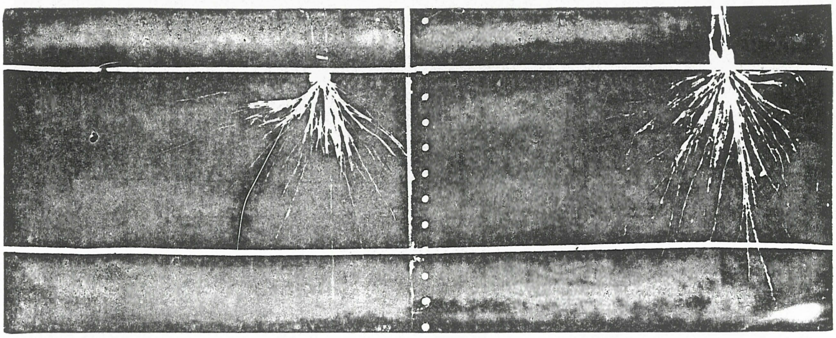


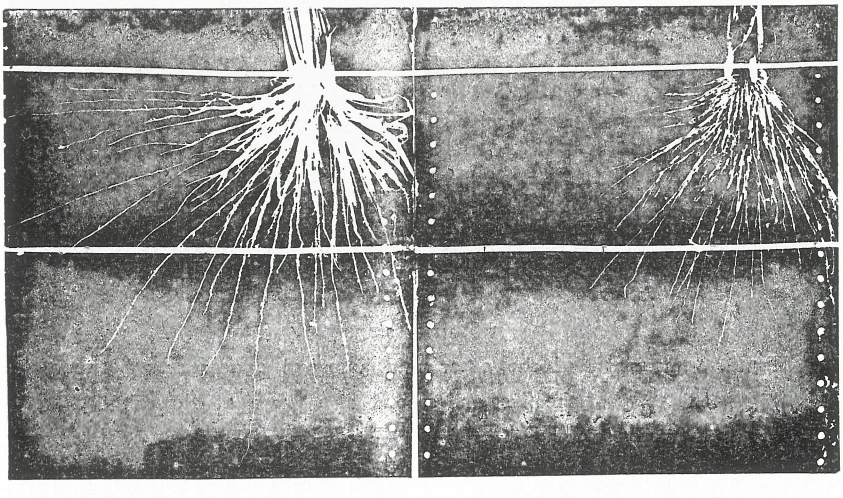
Fig. 3. Comparison between the potassium concentrations in leaves and paddy soils of the first and second rice crops. ●—●First crop-rice leaf, ○…○ Second crop-rice leaf, ▲—▲ First crop-paddy soil, △…△ Second crop-paddy soil,

爲瞭解稻根之分布及外觀活力之表現，以改良方塊法將稻根掘起，小心冲去土壤，觀察結果獲悉大部份之稻根分布於耕土層。又生育初期，二期作稻根伸長生長快速，分枝根較多，但其根徑較細；一期作稻根雖伸長較慢，但其根徑較粗，根表被覆有相當明顯之紅棕色氧化鐵沉澱。再者，於生育後期二期作水稻由於腐敗根比率較高，洗根時容易被水冲走，故稻根顯得較一期作者短而稀疏，外觀上其活力亦較一期作者爲差（Fig. 4、5）。



First crop　　Second crop

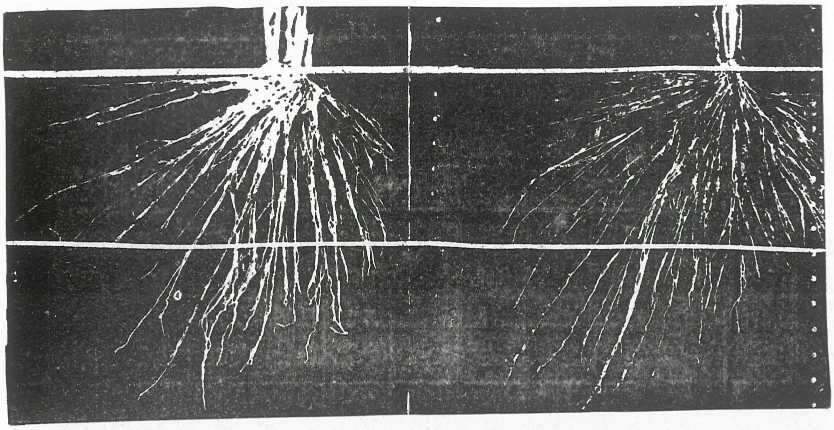
Early tillering stage



First crop　　Second crop

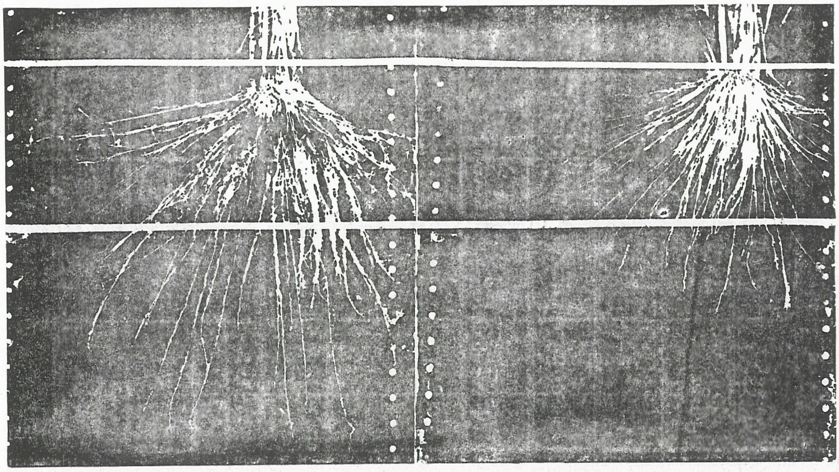
Vigorous tillering stage

Fig. 4. Comparison of the outer morphlogical appearances between the roots of the first and second rice crops at tillering stages. Upper white line : surface soil ; lower white line : plow sole.



First crop Second crop

Flowering stage



First crop Second crop

Maturity stage

Fig. 5. Comparison of the outer morphological appearances between the roots of the first and second rice crops at flowering and maturity stages.

經取樣調查產量結果，六十八年一期作稻穀之產量每公頃5,366公斤，二期作稻穀產量每公頃僅3,968公斤，後者僅爲前者之74%。又六十九年一期作產量爲5,776公斤，二期作產量爲4,016公斤，後者僅爲前者之71%。穗長經調查，結果，六十八年一、二期稻作分別爲19.1及21.5公分；六十九年一、二期稻作則分別爲18.0及19.6公分。經分析產量構成因素之差異結果，獲悉六十八年第二期稻作之穗數、一穗粒數、稔實率及千粒重分別爲第一期稻作者之 85%、132%、78%及99%；六十九年第二期作之穗數、一穗粒數、稔實率及千粒重則分別爲其第一期稻作之91%、103%、75%及89%（Table 4）。

Table 4. Differences in yields and their components between first and second rice crops

	Yield component	穗　　數	Grain num. per ear.	% of fertile grains	Wt. of 1000 grains (g)	Yield (kg)
(1979)	(A) First crop	12.6	113.3	94.4	24.9	5,366
	(B) Second crop	10.8	149.4	73.1	23.6	3,968
	B/A×100%	85%	132%	78%	99%	74%
(1980)	(A) First crop	15.1	127.5	93.7	23.6	5,776
	(B) Second crop	13.7	131.4	70.2	20.9	4,016
	B/A×100%	91%	103%	75%	89%	71%

討　　論

作物之根部是其吸收水分、營養要素，合成植物荷爾蒙，貯藏養分以及固定與支持植物體的重要器官。水稻根部經常生長於湛水之水田土壤中，其生育之環境與旱作物之根部有很大的差異[16,17]。目前爲止，已有許多研究論及二期稻作低產有關地上莖葉部之生育問題[6,23,29]，也有許多報告指出水稻根部之生理機能與其地上部之生長發育息息相關[7,8,33,36]。本研究經有系統地探討二期稻作低產有關根部之生理與生態原因，茲將實驗結果與有關資料討論於後。

一般認爲溫度對於本省一、二期稻作之生育與產量影響甚大。Tajima 經試驗結果指出水稻根部受溫度之影響比其地上部更爲敏感[38]。本研究調查稻根之生育環境結果得知，在湛水稻田表土溫與氣溫有直線相關，又表土溫與不同深度之土溫亦有直線相關。因此在不同深度生長稻根之周圍土壤溫度，均可由氣溫間接估算，相當方便。由於水稻根部分布最多的是耕犂過之土層。本省一般水田耕犂深度約15公分，故土表下15公分範圍內耕土層之溫度與其生育環境對於稻根之生育具有決定性的影響。本省一期稻作生育初期正遇低溫，例如民國68年插秧期平均氣溫爲 17.6°C，時表土溫爲 18.7°C，犂底層溫度爲 17.9°C。如就最低溫度而言，68年一期作之分蘗初期最低氣溫達 7.3°C，時之表土溫爲7.1°C，而犂底層溫度爲 9.8°C。相反地，二期作之生育初期遇高溫，例如民國68年與69年插秧期之平均氣溫爲29°C左右，時稻田之表土溫約 28.3°C，犂底層溫度約27.5°C。又69年該生育時期水稻遭遇之最高氣溫爲 36.1°C，時表土溫高達 39.3°C，犂底層溫度亦高達 37.6°C (Table 1、2)。可見本省一、二期稻根生育之溫度環境有極大的差異，而且二期稻作生育初期根部所遭遇之最高溫度較其莖葉部所遭遇者更高。林[11] 在水稻不同生育時期給以高水溫 (38°C) 處理，實驗結果指出，生育早期高水溫的影響較爲顯著，可能是生育早期水稻根的生長點均在基部，直接受到高水溫之侵害較大。

本實驗經挖根調查結果，生育初期遇高溫之二期作稻根伸長生長快速，分枝根較多，但其根徑較細，生育後期腐敗根比率較高；而生育初期遇低溫之一期作稻根雖剛開始伸長生長較緩慢，但其根徑保持較粗，根表被覆有較多之紅棕色氧化鐵，外觀上其活力一直維持較高 (Fig. 4、5)。可見生育初期快速伸長之稻根，其活力衰退亦較快。

侯[20] 曾利用可在培養基中生長良好之臺中在

來一號水稻分離根[26]，以溫度控制精確之恒溫箱培養，研究溫度（15～36°C）之影響，得知稻根生長之最適溫度爲28°C左右，而在較低溫環境下生長之稻根，伸長較慢，分枝根較少，根徑保持較粗並富有活力，與一期作稻根生育初期之長相類似；在較高溫環境下生長之稻根則分枝根較多，主根與分枝根之根徑均較細，與二期作稻根之外形類似。當溫度高達 34°C 以上時，根尖之生長點在短期間內退化，生長極差。由此推論，一、二期稻根活力之維持及其外觀形態之不同，與這兩期水稻生育初期所遭遇之溫度有密切之相關。三屋等[2]曾以臺中65號水稻品種研究一、二期水稻生育之情形，發現在插秧後一個月內，無論每日根長伸長速度、根重或根在土壤中生長之幅度均以二期作較快，但此後則相反地以一期作較快，而且在生育後期根重及根數均以一期作較多。吳[13]以同一品種研究結果亦顯示，在生育後期二期作水稻之根系發育較一期作者差。磯[30]亦曾報告，水稻生育後期，總根數及新根數均以一期作較多。

土壤之氧化還原狀態可以 Eh 值表示。旱田土壤，由於其粒子與粒子之空隙中存有氧氣，常呈氧化狀態，Eh 爲正值；而水田土壤經湛水後，土壤空隙中之空氣被水取代，呈還原狀態，Eh 爲負值[16,31]。惟水田土壤之還原程度常隨地溫、地勢、灌排水、有機質肥料之施用，以及種植作物之根部氧化力等之不同而異[17]。即土壤中有機質（尤其未經腐熟者）愈多，溫度愈高，及所種植之作物根部氧化力愈低，則土壤之還原狀態愈明顯。在還原狀態之水田土壤中，常有對根有害之還原性物質如 Fe^{++}、低級脂肪酸及硫化氫等之存在[12,22,39]。當土壤還原狀態愈明顯時，該等物質越安定，而且在排水不良之低窪地，該等物質不易排除，對於稻根之生長極爲不利。本實驗結果獲悉，在水稻糊熟期以前，二期作之 Eh 值常較一期作爲低（Table 3）。亦即二期作常生長於較爲不利之土壤環境中。二期作稻田土壤之 Eh 值較低，似與其生育初期地溫較高（Table 3），稻根之氧化力較弱（Fig. 1），以及兩期作中間水田之休閒期較短有關。已有研究報告[22,34]指出，水稻新根之氧化力較老根者爲强。在生育初期由於新根不斷的產生，單位重量根之氧化力甚强；到孕穗期以後，因不再有新的根羣發生，故根之氧化力變爲甚弱。該結果與本實驗（Fig. 1)類似。本實驗以改良方塊法挖根調查結果，發現一期作稻根外表被覆有較多之氧化鐵，以 α-萘胺法測定結果亦顯示一期作稻根之氧化力常較二期作高（Fig. 1），這兩結果甚爲一致。蔡[25]實驗報告指出，高水溫（38°C）環境下栽培之水稻根部生育不良，根數多但短，容易衰老，且氧化力減弱。侯最近之實驗報告，稻根之氧化力與生理活力受施用肥料之影響甚大，即三要素中，任一要素之供給欠缺，或失去平衡，會使稻根之氧化力及生理活力降低[19]，又還原狀態土壤中容易發生之硫化氫及低級脂肪酸等亦會使稻根之氧化力降低[21]。由上述結果推論，二期水稻根部之氧化力較差似與其稻田土壤呈較明顯之還原狀態以及磷鉀之吸收較少有關。

水稻之根部是其吸收營養要素之主要器官。而營養要素之吸收與土壤溫度，土壤中含該等要素之濃度，及根部之吸收能力等息息相關。本實驗分析與主動吸收關係密切之磷、鉀兩要素結果，二期水稻在土壤中含磷、鉀未見較少，且溫度較高，亦即較適宜吸收之環境下，其葉部所含之磷與鉀却比一期作者少（Fig. 2、3）。以往有關這兩期作稻葉中磷、鉀含量分析比較結果[28,32]，亦與本實驗類似。許多報告[12,22,27]指出，水田中之還原性物質會抑制呼吸作用之細胞色素（Cytochrome）系統，使需能之營養要素吸收受抑制。由此推論二期水稻葉部之磷鉀含量較少，似是其稻根主動吸收之能力較差以及二期作稻田土壤較爲還原，還原性物質較多所致。

根據產量調查結果，民國六十八年二期作稻僅爲一期作稻之74%，六十九年則二期僅爲一期者之71%（Table 4）。經分析比較產量構成因素結果，二期作低產之原因係其穗數、稔實率及千粒重較低所致。而穗長及一穗粒數則反以二期作者較高。本省二期稻作低產地區經產量構成因素分析結果，大多與本實驗結果類似[6,23,29]。二期作在分蘗期遇高溫，分蘗受抑制，故穗數減少，已爲衆所周知之事實，在此不再加以論述。至於二期稻作低產有關根部之原因，綜而言之，係其根部在生育初期遭遇高溫，伸長快速，根徑較細，根之生理活力及氧化力均常較一期作者爲弱，又二期作稻田之還原狀態常較明顯，其稻根長期生長於較爲還原之土壤中，容

易受到還原性物質之侵害，故磷、鉀等營養要素之吸收較少。再者，二期作穎花決定時期溫度較高（Table 1 、2），較爲適宜，退化之穎花數較少，故穗長及一穗粒數均較多（Table 4），但在米粒形成關係最密切之生殖生長期，其腐敗根比率較多，稻根之活力更爲低落，因而光合作用之效率差，生成有限之光合產物不够分配充實每一穎花，導致稔實率及千粒重均較低。是故，如能密植，增加單位面積穗數，改善稻根之生育環境[14]，增强稻根之氧化力及其對營養要素之吸收能力，並使稻根能在生育後期維持較高之活力，可望提高二期稻作之單位面積產量。

引用文獻

1. 山田登、太田保夫、中村拓。1961。α-ナフチルアミンによる稻根の活力診斷。農業及園藝36：1983—1985。
2. 三屋壽夫、倉光正治、山口知。1943。臺灣ニ於ケル水稻根羣，發育ニ關スル研究。臺灣農會報5（2，3）。
3. 土壤養分測定委員會編。1971。土壤養分分析法。訂正2版 pp. 6-10。養賢堂，東京。
4. 中央氣象局應用氣象組農業氣象科。1979。農業氣象旬報第26卷合訂本。臺北市。
5. 中央氣象局應用氣象組農業氣象科。1980。農業氣象旬報第27卷合訂本。臺北市。
6. 李水龍、湯文通。1963。臺灣水稻第二期作單位面積產量不如第一期作之原因及其改進方法。科學農業11：9—33。
7. 李鍾薰、太田保夫。1971。水稻の地上部の形質におよぼす根の役割に關する研究—第5報施肥位置および施肥量のちがい根と地上部諸形質におよぼす影響。日本作物學會紀事40：217—222。
8. 延圭復、太田保夫。1973。水稻葉の老化と根の活力との關係について。日本作物學會紀事42：13—17。
9. 作物分析法委員會編。1976。營養診斷のための栽培植物分析測定法（第3版） pp. 6-8, 63-75。養賢堂，東京。
10. 林家棻。1967。臺灣省農田肥力測定。臺灣省農業試驗所報告第28號。
11. 林秀雄。1976。高水溫對於臺灣二期水稻生理生態之影響。中華農學會報新95：24—35。
12. 吳振能。1967。水稻窒息病。臺灣農業研究中心，作物生理講習會專刊pp. 99-120。臺北市。
13. 吳振能。1970。臺灣水稻第一、二期產量不同的生理原因研究。臺灣省農業試驗所油印報告。臺北市。
14. 吳育郎、鍾德月、周德雄、楊俊彥、劉文慶。1978。臺灣南部二期作水稻綜合改進。中華農學會報新103：43—58。
15. 松島省三、山口俊二、岡部俊。1952。水稻收量構成四要素の決定時期特に決定終期。農業及園藝27：12。
16. 侯清利。1977。湛水水田土壤環境與稻根之生理特性。嘉義農專農藝學報9：15—21。
17. 侯清利。1979。稻作之土壤與肥料問題。嘉義農專農藝學報11：1—9。
18. 侯清利。1979。水稻根部氧化力及其生理機構。科學農業27：77—81。
19. 侯清利。1981。肥料要素對於稻根氧化力及活力之影響。嘉義農專學報7：1—13。
20. 侯清利。1982。溫度對於水稻分離根生育之影響。未發表資料。
21. 侯清利。1982。溫度、pH 及還原性物質對於稻根氧化力之影響。嘉義農專農藝學報 14：1—6。
22. 張守敬譯。1957。（三井進午著，1954）。水稻之營養與土壤管理。科學農業社叢書第三號。臺北市。
23. 黃眞生。1977。水稻第二期作低產之原因。中華農學會報新100：22—33。
24. 臺灣省政府農林廳。1981。臺灣農業年報（民國七十年版）。臺中。
25. 蔡新德。1965。高水溫及高氮肥對於稻根生育與活力之影響。臺大農藝研究所碩士論文。臺北市。
26. 賴光隆、呂宗佳。1971。水稻根生理生態之研究—印度型水稻根之改良培養基與稻根之生育感應。臺大農學院研究報告12：73—94。
27. 賴光隆、侯清利。1973。關於稻根生理生態之研究—硝酸態氮有機酸對分離根呼吸率及生育之影響。臺大農學院研究報告14：131—146。
28. 謝昱璋。1976。第一、二期作水稻之生長及同化能力與產量關係之比較研究。中央研究院總統蔣公逝世周年紀念論文集pp. 463-481。臺北市。
29. 謝順景、劉大江編。1979。臺灣二期稻作低產原因及其解決方法研討會專集。行政院國家科學委員會發行。臺北市。

30. 磯永吉。1934。增補水稻耕種法講演 pp. 59-67。臺灣農會發行。臺北市。
31. Chang, S. C. 1971. Chemistry of paddy soil. ASPAC Food & Fertilizer Technology Center. Extensin Bulletin No. 7. Taipei .
32. Chen , S. C., D. D. Huang, M. C. Shen and D. J. Liu. 1980. Carbohydrate, N, P and K status of developing rice (*Oryza sativa L.*) plants grown in the first and second crop seasons in Taiwan. Jour. Agric. Res. China 29(2) : 81-92.
33. Fujii, Y. 1974. The morphlogy and physiology of rice roots. ASPAC Food & Fertilizer Technology Center. Technical Bulletin No. 20, Taipei .
34. Hou, C. R. 1976. Studies on the differentiation of physiological characterstics of the roots of rice plants (*Oryza sativa L.*) Ph. D. Dissertation, National Taiwan University Taipei .
35. Ishizuka, Y. 1973. Physiology of the rice plant. ASPAC Food & Fertilizer Technology Center. Technical Bulletin No. 13. Taipei.
36. Murata, Y, J. Iyama and T. Honma. 1965. Studies on the photosy nthesis of rice plants XIII. On the interrelationships between photosynthetic activity of the leaf and physiological activity of the root. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 34 : 148-153.
37. Ota, Y. 1970. Diagnostic mothods for the measurement of root activity in rice plant. JARQ 5(3) : 1-6.
38. Tajima, K. 1965. Studies on the physiology of crop plants in response to the effect of high temperature II. Inhibition by high temperature of cytochrome C oxidase activity and its restoration by phospholipid. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 33 : 375-378.
39. Wang, T. S. C. 1967. Soil organic compounds as plant growth promotors and inhibitors. Soil and Fertilizer in Taiwan pp. 1-13.

Comparison between the Soil Conditions, Root Activities and Yields of the First and Second Rice Crops*

Chin-hi Hou and Jen-Chen Huan

Department of Agronomy
National Chia- Yi Institute of Agriculture
Chia-Yi, Taiwan 600
Republic of China

Summary

Two crops of rice can be cultivated in a year in most part of Taiwan. The first crop is grown in the former half of a year, and the second crop is in the later half. However, the yield per unit area of the second crop is always about 20% lower than that of the first in the past years. The research was designed to elucidate the causes of low yield of the second rice crop especially concerning the roots and their growth environments. Results were summerized as follows.

Most of the root system distributed in the plowed soil, i. e., in a layer about 15 cm below the surface of the soil. It was found that before booting stage the temperature of this layer of the second crop was always higher than that of the first crop. And until dough stage, the Eh value of this layer of the second crop was always lower than that of the first crop. Moreover, in the earlier stage, the tendency was more clear.

The roots of the second rice crop always grew in more reduced and unfavorable environment of the paddy soil. Furthermore, their oxidizing abilites were always lower than those of the first crop. Therefore, their roots could more easily be damaged by reduced substances in the soil. It was also noticed that the elongation rate of the roots of the second crop was faster but the roots became thinner when they grew in a higher temperature during the early growth stage. The outer morphological appearance also showed that the ratio of rotten roots of the second crop was higher at later growth stage. The analyses of phophorus and potassium in rice leaves and paddy soil revealed that the absorption ability of the second crop was lower than that of the first crop. The above facts may be the main cause of lower percentage of fertile grain as well as lower grain weight, and consequently influence the yield in the second rice crop.

* Supported by grants 1980-5.1-080 (2—17) and 1981-5.1-06 (2—8) from Council for Agricultural Planning and Development, Executive Yuan, R. O. C.